

названия стандартов). Данная панель также содержит «Поиск», который позволяет по обозначению либо слову из названия отыскивать необходимый стандарт. Таким образом, можно отслеживать, не использует ли база данных отмененный или переизданный стандарт, и своевременно актуализировать информацию.

Использование базы данных, ее дополнение и изменение описаны в руководстве оператора, которое разработано согласно ГОСТ 19.105 и ГОСТ 19.505, устанавливающим требования к программной документации.

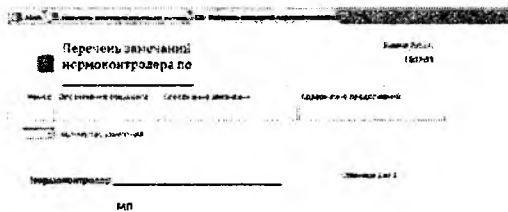


Рисунок 4 – Форма отчета «Перечень замечаний нормоконтролера»

УДК 620.18:621.7-4

НЕРАЗРУШАЮЩЕЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА ПОВЕРХНОСТЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Белый А.В., Гусев О.К., Жарин А.Л., Свистун А.И., Тявловский А.К.,
Тявловский К.Л.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Предметом исследования являлось изменение работы выхода электрона (РВЭ) поверхности конструкционных материалов в процессе упрочняющей плазменной обработки. Для проведения измерений применялась разработанная в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ экспериментальная установка для бесконтактной неразрушающей характеристики поверхности, реализующая модифицированный метод Кельвина-Зисмана [1]. Исследовались тестовые образцы из четырех различных марок стали. Поверхность образцов подвергалась воздействию плазмой с различной энергией (температурой плазмы), что обеспечило различную степень модификации поверхности.

Образцы из стали Р6М5 представляли собой цилиндры с полированными торцевыми поверхностями. Один из образцов (исходный) не подвергался каким-либо воздействиям, а торцевые поверхности образцов №№ 1, 2 и 3 были подвергнуты воздействию плазмой с температурой 450, 500 и 550 °С соответственно, что привело к азотированию поверхностного слоя материала. При исследовательских испытаниях было выполнено сканирование всех четырех образцов одновременно, результатом измерений явилась цифровая карта распределения относительных значений РВЭ поверхности образцов.

Анализ пространственного распределения РВЭ методом Кельвина-Зисмана позволил выявить неоднородности модифицированных поверхностей, особенно ярко проявляющиеся на образце №1, подвергнутому воздействию плазмой с температурой 450 °С. Это может объясняться тем, что при низкой температуре воздействия энергия плазмы оказалась недостаточной

для создания сплошного азотированного слоя, и часть поверхности осталась в исходном состоянии. Получаемое на основе цифровой карты распределения РВЭ визуализированное изображение дает наглядную информацию о наличии и локализации неоднородностей, однако объективная количественная оценка изменений свойств поверхности на его основе затруднена. В связи с этим наиболее удобным для сопоставления свойств поверхности образцов и оценки их однородности было признано построение графика изменений относительных значений РВЭ вдоль медианной линии, проходящей через центры всех образцов. Соответствующее представление результатов контроля однородности образцов из стали Р6М5 показано на рисунке 1. Из рисунка хорошо видно, что исходный образец и образец, обработанный при температуре 450 °С, практически не отличаются по свойствам поверхности (значения РВЭ в центрах образцов одинаковы), и при этом характеризуются большой неоднородностью поверхности по направлению от центра к краям. Обработка при температуре 500 °С приводит к скачкообразному изменению свойств поверхности, ее однородность при этом повышается. Наконец, обработка при температуре 550 °С вновь приводит характеристики поверхности к исходному уровню, однако ее однородность оказывается значительно выше, чем у исходного образца. Результаты контроля находятся в хорошем согласии с результатами металлографического исследования образцов.

Анализ полученного таким образом графика позволяет ввести условную количественную характеристику однородности поверхности образца в виде наибольшей разности значений РВЭ ΔU_{CPD}

вдоль медианной линии, секущей образец. Так, для исходного образца из стали Р6М5 величина неоднородности РВЭ поверхности составляет 28 мЭВ, а после воздействия плазмой с температурой 550 °С – 9 мЭВ.

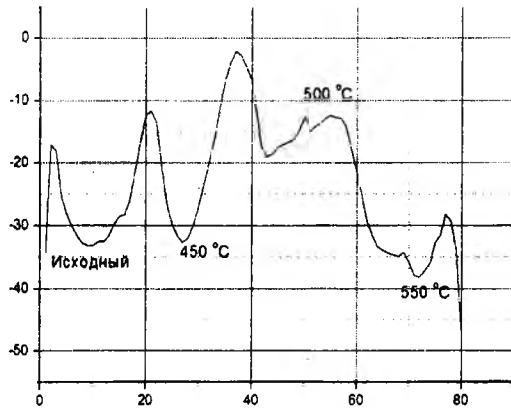


Рисунок 1 – График изменения значений РВЭ поверхности образцов из стали Р6М5 вдоль медианной линии

На рисунке 2 представлены результаты исследования зависимости РВЭ от температуры плазменной обработки для стали Р18. Отличие химического состава поверхности от предыдущего случая определило отличающийся характер полученной зависимости. При этом исходный образец отличается наибольшей неоднородностью РВЭ поверхности, составляющей 40 мЭВ. Обработка при температуре 450 °С так же, как и в предыдущем случае, практически не влияет на свойства поверхности, но, в отличие от стали Р6М5, повышает ее гомогенность. Дальнейшее увеличение температуры воздействия до 500–550 °С приводит к скачкообразному изменению свойств поверхности, при этом последняя приобретает высокую однородность (неоднородность РВЭ около 4 мЭВ).

Для стали Х17М40 1К, результаты исследования которой показаны на рисунке 3, гомогенность поверхности после плазменного воздействия не обеспечивается. При этом видно, что в диапазоне температур воздействия 380–450 °С свойства модифицированной поверхности различаются незначительно, тогда как при более низких и более высоких температурах плазмы регистрируемые значения контактной разности потенциалов поверхности оказываются значительно (на 40–60 мВ) ниже. Аналогичную зависимость от температуры плазменного воздействия демонстрируют и значения микротвердости поверхности образцов, что подтверждает диагностическую значимость получаемых результатов контроля.

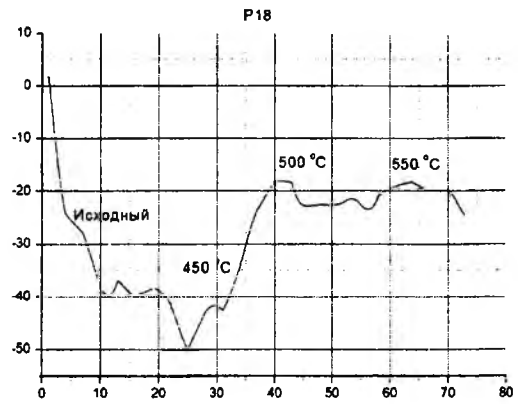


Рисунок 2 – График изменения значений РВЭ поверхности образцов из стали Р18 вдоль медианной линии.

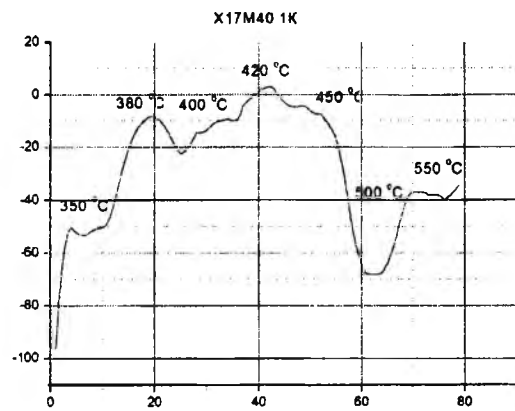


Рисунок 3 – График изменения значений РВЭ поверхности образцов из стали Х17М40 1К вдоль медианной линии

В целом аналогичные результаты были получены и при сканировании восьми образцов из стали 55Х20Г9АН4 (рисунок 4).

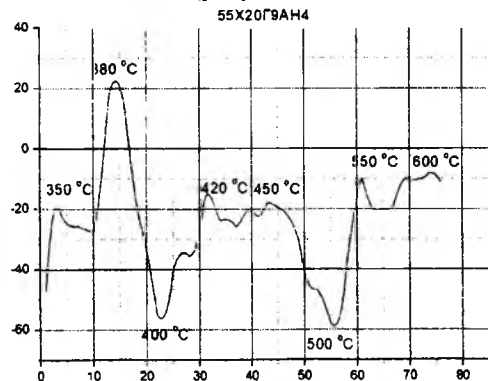


Рисунок 4 – График изменения значений РВЭ поверхности образцов из стали 55Х20Г9АН4 вдоль медианной линии

Из рисунка видно, что данный случай носит наиболее сложный характер, поскольку даже небольшие изменения температуры воздействия приводят к существенному сдвигу значений РВЭ поверхности. Возможно, этим и объясняется

низкая степень гомогенности поверхности образцов, регистрируемая экспериментальной установкой для стали 55X20Г9АН4 в ходе исследований.

1. Жарин, А.Л. Контроль свойств поверхности металлических образцов с использованием зондовой электрометрии / А.Л. Жарин, А.Г. Анисович, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский,

А. И. Свистун // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов. Материалы 4-й международной научно-технической конференции (Могилев, 26-27 сентября 2012 г.). – Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-российский университет». – 2012. – С. 137-139.

УДК 681

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Билоконь С.А.¹, Антониук В.С.², Свиридова О.В.³

¹Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

³Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Одесса, Украина

Наноиндентирование – относительно новая отрасль науки, которая изучает разнообразные характеристики материалов, в том числе – диэлектрических. На сегодняшний день наука и техника стремится к уменьшению компонентов и систем вплоть до нанометрических размеров, поэтому данное направление исследования механических поверхностных свойств материалов набирает всё большую популярность. Большое количество разработанных в последние годы методов обработки первичных данных с применением метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволяет определять более десятков разнообразных характеристик материалов (микротвердость, износостойкость, трибологические свойства и т.п.) и делает наноиндентирование гораздо более информативным [1].

Согласно международному стандарту ISO 14577, выделяют три диапазона измерений: макро ($2 \text{ Н} \leq P \leq 30000 \text{ Н}$), микро ($P \leq 2 \text{ Н}$, $h > 20 \text{ нм}$) и нано ($h \leq 20 \text{ нм}$). Здесь P – сила вдавливания индентора, h – глубина отпечатка. Такой метод дает возможность рационально исследовать пленочные покрытия, микро- и нано-электромеханические системы и электронные компоненты в нанометровом диапазоне размеров, вплоть до атомарного уровня [2].

Приборы, осуществляющие процесс наноиндентирования устроены сходным образом. Они содержат узел нагрузки и датчик для регистрации перемещения индентора, контроллерный блок и компьютер с пакетом программ для управления всеми рабочими циклами прибора. Обратную связь между датчиком перемещения и силовой ячейкой позволяют значительно расширить набор методов нагрузки и обработки сигналов. В последних версиях измерительный датчик позволяет регистрировать не только смещение по вертикальной оси z , но и вдоль латерального

направления u , что при известной поперечной жесткости подвески S_y дает возможность измерять латеральные силы F_l , а следовательно и коэффициент трения $f = F_l/F_N$ (здесь F_N – нормальная сила, приложенная в данный момент к индентору). Для выбора места укола служит оптический микроскоп, а для позиционирования и перемещения образца – многокоординатный столик. Наличие моторизованного столика позволяет существенно расширить набор опций, в частности, осуществлять автоматизированное картирование механических свойств поверхности, измерять коэффициент трения, регистрировать микропрофиль вдоль заданной траектории [3].

Возможность применения метода АСМ для исследования микротвердости диэлектрических поверхностей заключается в том, что принцип работы нанотвердомера и атомно-силового микроскопа аналогичны, что позволяет их объединить в одном комплексе, чем значительно расширить возможности зондовых методов и сделать их одними из наиболее востребованных методов метрологического исследования в нанотехнологиях. Помимо тех преимуществ, что были уже перечислены, данный метод обладает также такими преимуществами [4]:

1. Возможность проведения сканирования образца с выбором места внедрения индентора непосредственно перед процессом наноиндентирования, что позволяет учесть и избежать резких перепадов микрорельефа, а также инородных включений.
2. Проведение повторного сканирования исследуемой области, что позволяет визуализировать навалы в местах индентирования и, как следствие, получать более качественные данные по микротвердости поверхности.